

电磁干扰(EMC)应考虑的问题

VI-200/MI-200, VI-J00/MI-J00, Mega Modules

直流电源

Vicor公司的直流—直流变换器模块有多种输入电压范围，以满足计算机、工业控制系统、军工产品、通信设备和其他应用领域的动态要求。

这节包括：

• 传导噪声	10-1
共模噪声	10-1
— 未经滤波输入情形	10-1
— 带有共模输入滤波器	10-2
— 带有共模滤波器的一般固定频率变换器	10-3
— 带有滤波器的并联模块	10-3
差模噪声	10-4
• 辐射噪声	10-5
• 差模输出噪声	10-5
高频噪声	10-9
低频噪声，市电引起的噪声	10-9
— 无滤波器输出	10-9
— 带有输出电容器	10-10
— 带有LC输出滤波器	10-11
— 带有RAM纹波衰减模块	10-11

传导噪声

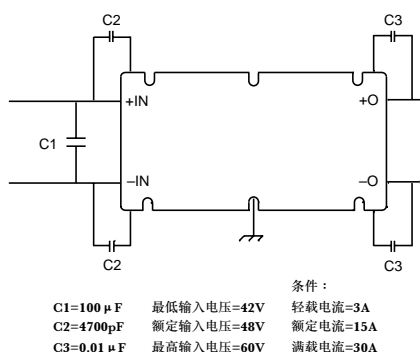
传导噪声是指流经输入电压源及电源之间的交流电流。它包括共模噪声和差模噪声。Vicor零电流开关变换器比普通的PWM变换器的传导噪声低20-40db。但是，如果要求达到专门的EMI/RFI规范时(如FCC或VDE等)，还须进一步滤波。

因为谐振模块的噪声只有固定频率变换器模块的十分之一到百分之一，因此，若能按本手册第3节所述正确使用情况下，再配合一个系统现存滤波器，应可以达到相同或更好的效果。

如果电源系统没有加上滤波器，下述可提供一些有用资料以使系统附合传导噪声之要求。一些特殊系统，如Tempest(军用)或UL544/IEC60601(医用)系统有一些不同的要求。医用电源系统的要求随各个国家和应用场合而变。具体要求应与Vicor应用工程师联系。

共模噪声

图1
不加滤波器的
传导输入噪声



无滤波器

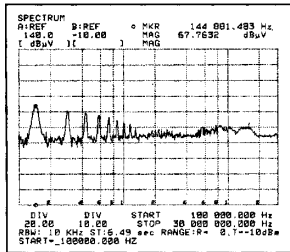
Vicor型号：VI-230-CV

输入电压：48V 输出电压：5V

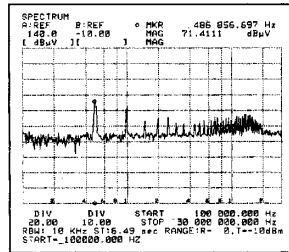
传导噪声与负载电流的关系

传导噪声(续)

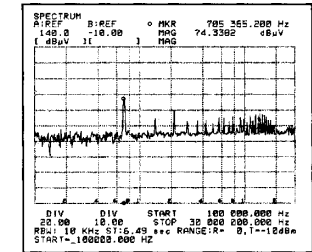
负载电流3A



负载电流15A



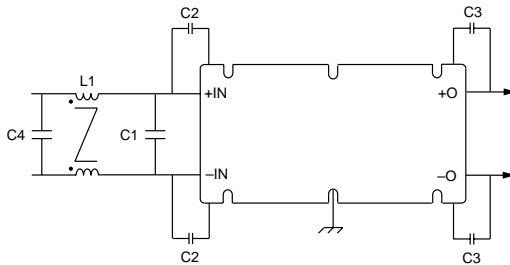
负载电流30A



共模传导噪声是指存在在模块正负输入端之同方向(同相位)电流分量,该电流从变换器流出,经输入电源线流入直流电源,然后又经接地的模块基板或输出线返回到变换器。该电流可能产生面积很大的磁通闭合环路。如果不采取有效的控制措施,就会产生辐射磁场。共模噪声与变换器主开关元件电压变化率 dv/dt 及变换器之输入对基板及输入和输出间之有效电容有关。

减小共模电流的最有效方法是:在正负输入引线到模块基板之间接入“Y”级旁路电容器(C2)。同时,为了减小寄生电感,接线应当尽可能短一些。此外,为了满足FCC/VDE A或B级的要求,模块输入端还应加入共模电感(L1)。

图2
装有共模电感时的
传导输入噪声



C1=100 μF	01000	轻载电流=3A
C2=4700pF	04872	额定电流=15A
C3=0.01 μF	02133	满载电流=30A
C4=2.2 μF		
L1=3mH		

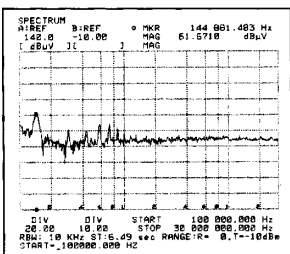
共模滤波器

Vicor型号: VI-230-CV

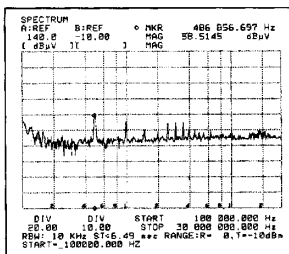
输入电压: 48V 输出电压: 5V

传导噪声与负载电流的关系

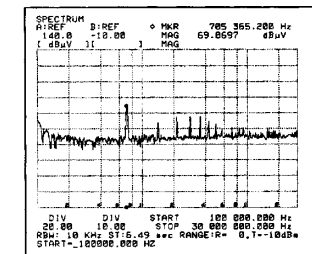
负载电流3A



负载电流15A



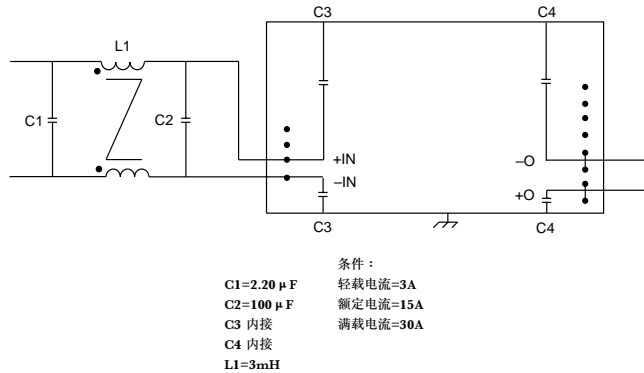
负载电流30A



由于采用零电流开关架构,变换器产生的噪声较少。设计所需滤波器并无特殊要求,事实上,若一个滤波器正合用在一个固定频率的变换器系统,该滤波器一般便足够合用于Vicor变换器。

传导噪声(续)

图3
装有滤波器的
一般固定
频率变换器的
传导输入噪声



共模滤波器

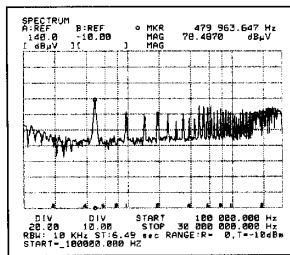
一般固定频率变换器

输入电压：48V 输出电压：5V

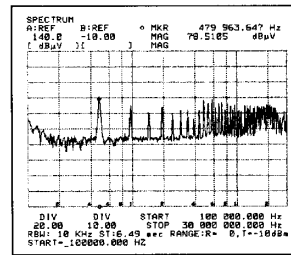
传导噪声与负载电流的关系

条件：
轻载电流=3A
额定电流=15A
满载电流=30A
C1=2.20 μF
C2=100 μF
C3 内接
C4 内接
L1=3mH

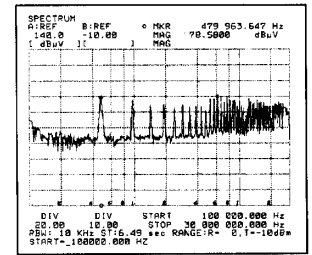
负载电流3A



负载电流15A



负载电流30A

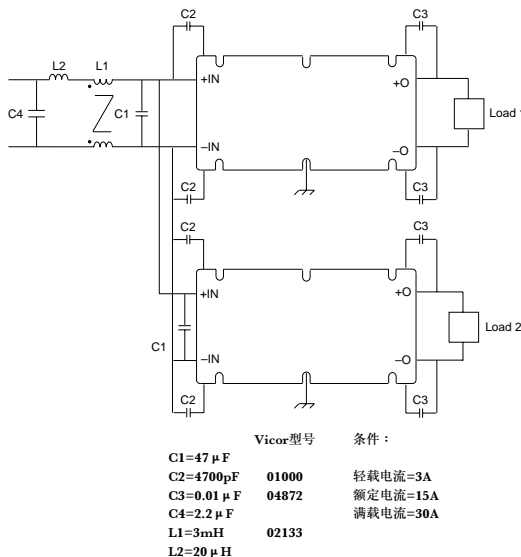


上述特性适用于装有输入滤波器的固定频率变换器。应当说明，带有滤波器的固定频率变换器比没有滤波器的零电流开关变换器产生的传导噪声还要大。还应当说明，在固定频率变换器的结构工艺，控制电路与功率处理器件置放在同一金属基板上，这会产生比前述更大的噪声。

多模块的传导噪声：

使用两只或多只模块时，对滤波器没有特殊的要求。所需滤波器的特性与单模块滤波器相同。但是由于输入电流增加，滤波电感磁芯上导线的直径应当增加。两只模块由同一输入电源供电时，输入传导噪声如下图所示。

图4
多只零电流开关变换器的
传导噪声



差模和共模滤波器

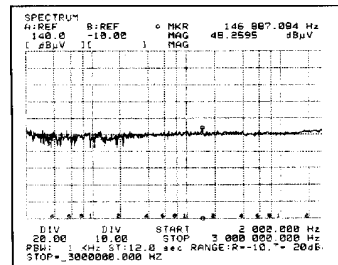
两只 Vicor VI-230-CV 模块

输入电压：48V 输出电压：5V

传导噪声与负载电流的关系

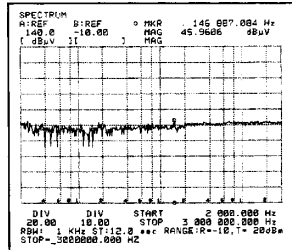
条件：
轻载电流=3A
额定电流=15A
满载电流=30A
C1=47 μF
C2=4700pF 01000
C3=0.01 μF 04872
C4=2.2 μF
L1=3mH 02133
L2=20 μH

3A/3A负载

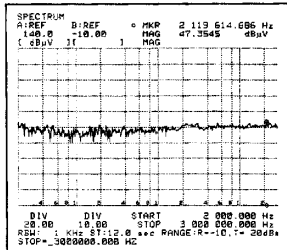


传导噪声(续)

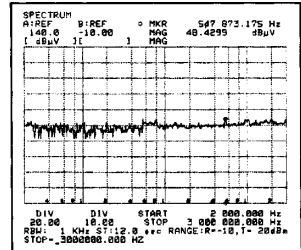
3A/6A负载



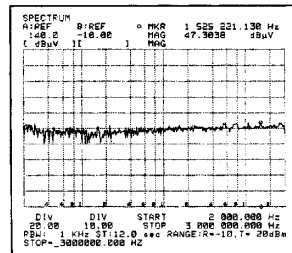
6A/15A负载



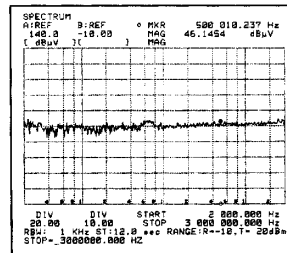
15A/15A负载



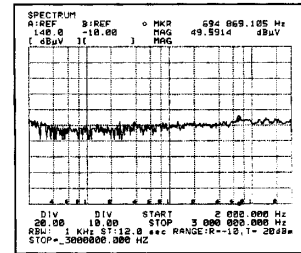
3A/30A负载



15A/30A负载



30A/30A负载



Vicor公司提供三种共模电感，作为标准配件：

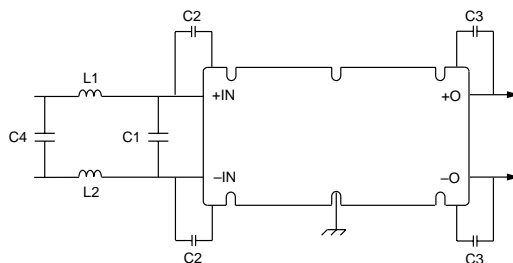
型号	每个绕组的电感量	最大直流电流	每个绕组的电阻
02134	1000 μ H	12A	6.5m Ω
02133	3000 μ H	7A	18m Ω
05071	2163 μ H	1A	42m Ω

当使用一个或以上模块时，可以独立使用或共用一个共模滤波器。但当模块以Gate-In脚互连或Gate-In脚和Gate-Out脚互连时(如在驱动器/倍增器阵列应用上，或为了实现多只模块的共同逻辑控制，各个驱动器之Gate-In脚需接在一起的情形下)只能用单个共模滤波器。

差模噪声

输入电源端的差模传导噪声电流是与每个输入端电流方向或相位相反的电流分量。

图5
差模滤波的
传导噪声



差模滤波器

Vicor型号：VI-230-CV

输入电压：48V 输出电压：5V

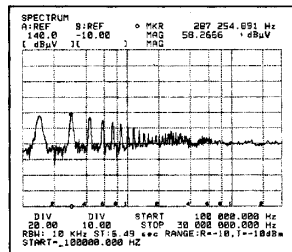
传导噪声与负载电流的关系

Vicor型号 条件：

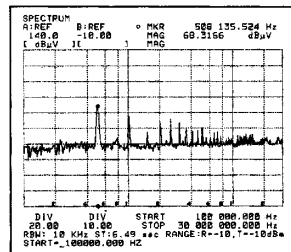
C1=100 μ F	01000	轻载电流=3A
C2=4700pF	04872	额定电流=15A
C3=0.01 μ F		满载电流=30A
C4=2.2 μ F	02133	
L1=20 μ H		
L2=20 μ H		

传导噪声(续)

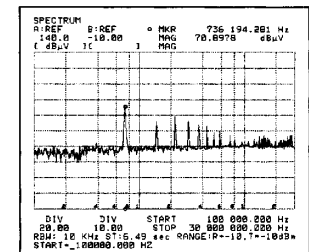
负载电流3A



负载电流15A



负载电流30A



所有Vicor变换器内都装有差模LC滤波器，模块只需外接一个容量较小的电容器C1(最小容量为400/ V_{in} μ F)便可减少差模传导噪声。为了减小磁通环路的截面积，外接电容应当尽量靠近模块。

应当尽量减小电源和C4之间差模电流产生的磁通环路的截面积。在两条输入线中，差模输入电流的相位相反，所以采用绞合输入线就可以抵消差模噪声。如果，PCB板背面的布线正好在另一条线的上面，PCB板的功率导面可减小辐射噪声。如果采用差模电感，可供一个或多个模块共用。

辐射噪声

辐射噪声可能是电场辐射噪声，也可能是磁场辐射噪声。磁场辐射噪声是由高的电流变化率 di/dt 引起的，也通常是FCC、VDE或MIL-STD-461(美国军用标准-461)的测试项目。Vicor变换器采用零电流开关技术，把电流的不连续波型减至最少，固电流变化率(di/dt)很小，因此，磁辐射噪声比非零电流开关的脉宽调制变换器低得多。电场辐射噪声(由电压变化率 dv/dt 引起)是一种“近场”噪声，也就是说，该噪声随著离开噪声源的距离增加而迅速衰减，因此，电场辐射噪声通常对辐射噪声的测试没有影响。

正确布置印刷电路板上的各种元件，可以减弱辐射噪声。交流电流导线应尽量短，使用双绞线方式或大片金属导面方式使磁通环路的截面积减小。还应当考虑电容耦合(即使不预期情况出现)的影响。模块印刷电路板的背面不能放置无屏蔽的滤波器，否则，传导噪声会在滤波器周围电容耦合起来。输入输出引线不能扎在一起，否则它们将相互影响。不要放置滤波器于每一块印刷板电路上，同时却用上20英尺无屏蔽电缆接至电源输入端。重申，使用Vicor模块不需特殊辐射噪声预防措施，只需适当设计技巧。

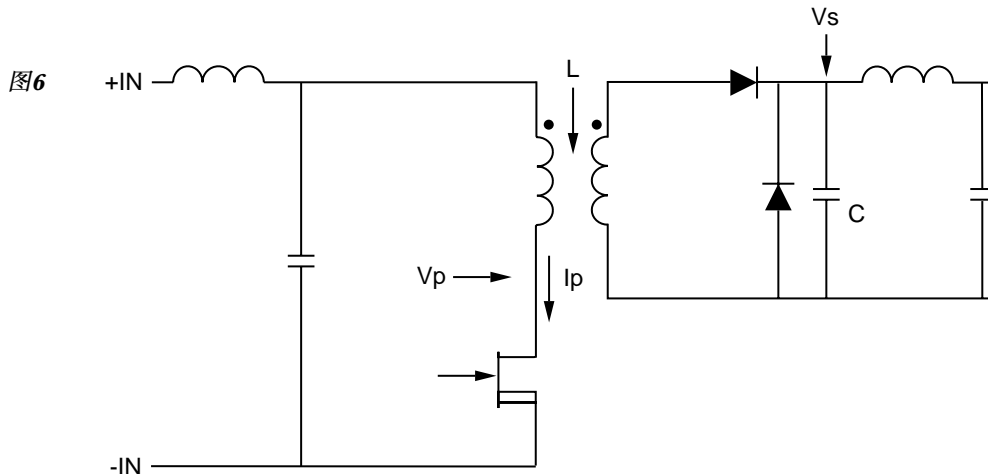
输出噪声

所有开关型电源都产生一定的噪声，然而，这项目仍是功率变换中一个最不为认知的参数。

VI-200和VI-J00系列模块采用相同的电路结构，它们的工作原理十分接近，这些产品都是零电流开关变换器，也就是说，主开关管导通和关断的瞬间，电流均为零。当开关管导通时，流过开关管或变压器初级线圈电流的波形是正弦波的一半，与谐振变换器的工作原理类似，这类变换器通常称为准谐振变换器。在该变换器中，LC时间常数是固定的，所以开关管的导通时间也是固定的。LC时间常数约

输出噪声(续)

为500ns。当开关管导通时，变压器(L)的漏感中贮存能量，并且“谐振”传入变压器次级的电容C(如图6所示)。每个脉冲产生的能量是固定的，也就是贮存在电容中的能量 $1/2CV^2$ 。因为每个脉冲的能量是固定的，所以为了保证输出电压不随负载变化而变化，脉冲频率必须随负载而转变。当输入电源电压最低且负载电流最大时，脉冲频率最高，此时，脉冲周期约为LC时间常数的2倍，或 $1\mu s$ 。如果负载电流减小50%，那么脉冲频率接近最高频率的一半(因为每个脉冲产生的能量是固定的)因此，脉冲频率与负载在一阶近似描述时是线性关系。

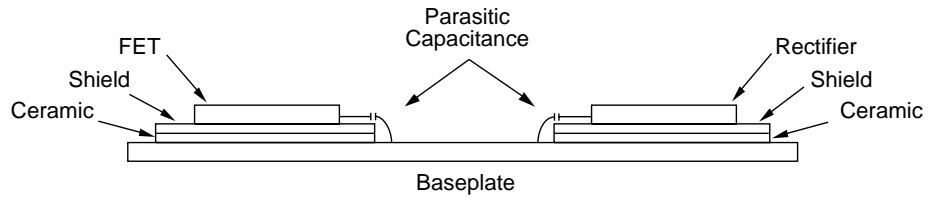


因为每个脉冲产生的能量与外加电压的平方(CV^2)有关，因此脉冲频率必须随电源电压的平方值变化而变化。例如在输入电压为300V的电源模块中，输入电压可从200V增加到400V，也就是说，输入电压可以增加两倍，因此为了稳定输出电压，脉冲频率必须改变2²倍，即4倍。如前所述，变压器初级线圈中电流是已整流的半波正弦波，但是初级线圈两端的电压波形为方波，该电压中含有基波分量和许多谐波分量，可延至50MHz到70MHz的频率。

这些频率将出现在下列情况中：急速变化的电压(dv/dt 很高)能够产生电场(主要是临近电场)。由于该电场的强度随距离增加而迅速减弱，所以通常不会产生系统的噪声问题，因此FCC和VDE等机构，都不测试电场的强度。但是，这些机构测试导体中电流急速变化引起的电磁辐射。变压器中经整流的半波正弦波电流是一种急速变化的电流，但是由于电流波形没有间断并且环路的截面积又非常小，因此，电场强度非常弱。但如果敏感电路放置在电源模块附近，电场对电路就会有一定影响。在这种情况下，应当在模块的环氧树脂面下面安装屏蔽板，该屏蔽板可以作为独立的元件，也可以作为模块基板下面的PC板的接地板。主开关管上的50MHz~70MHz谐波分量也会产生共模噪声，可由下图说明。

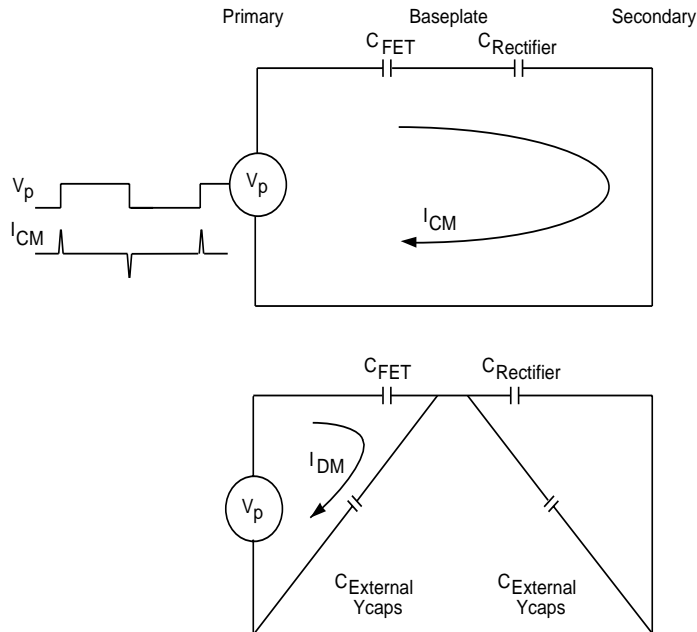
输出噪声(续)

图7
用屏蔽片减低
寄生电容



开关管 (FET) 的 dv/dt 是一种噪声源。该场效应晶体管 (FET) 经中间的两层屏蔽片及陶瓷绝缘片安装在基板上。由于陶瓷片是一种电介质, 所以场效应晶体管 (FET) 到基板之间具有寄生电容, 如图7所示。输出整流管也经陶瓷绝缘片与基板相连, 整流管与基板之间也具有寄生电容。场效应晶体管 (FET) 的 dv/dt 经这两个串联电容微分后, 产生一个频率为 $50\text{MHz} \sim 70\text{MHz}$ 的尖峰噪声电流 (图3)。该噪声电流是共模的, 与差模噪声相反, 因此, 不应该影响系统的工作。但是, 应当指出, 各种示波器的共模信号抑制能力有限, 并且当示波器采用较长接地线时, 情况会更差。

图8
噪声耦合模式

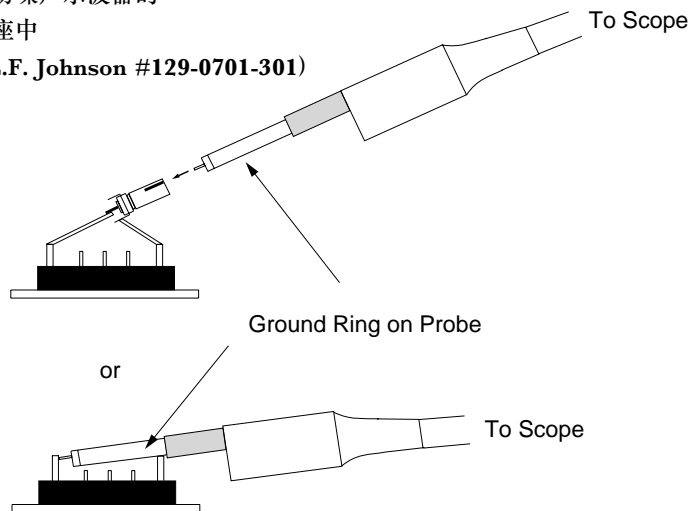


输出噪声(续)

因为较长的接地线具有一定的电感，而信号线没有电感，因此过长的接地线对示波器的共模信号抑制能力有不利的影响。这些不同的阻抗把共模信号转换成差模信号，并呈现在波形图上。为了检查共模噪声，把示波器的探头装在探针的接地线上，当接地线接到输出返回端或正输出端时(图9)，如果噪声是共模噪声，即使在同一点观察，也仍然能观察到噪声的波形。

建议在 $-V_{in}$ 端与基板间连接一个电容，此电容将共模电流旁路掉，这可大大减少输入线之噪声电流。另外，因为频率很高，电容的引线应很短，电容的质量也必须非常好(例如：陶瓷电容或其他具有低ESR/ESL材料的电容)。此电容对高输入电压的模块十分重要，因为其 dv 较大。当然，对于所有模块，通常都应使用该电容。

图9 为了正确测试输出差动噪声示波器的
探针应插入相应的插座中
(Vicor # 06207 或 E.F. Johnson #129-0701-301)



从 $-V_{out}$ 脚到基板之间，应当接入一只电容器，因为输出整流管会在 $-V_{out}$ 脚产生一个变化的电压，因此也像场效应开关管(FET)那样，将产生共模噪声。该电容对输出电压较高的模块(48V)尤其重要。

重复说明，共模噪声信号对输出不是差动的，但是共模噪声电流流过电源的输入和输出引线，并且是FCC或VDE要求测试的一个噪声参数。它能够引起电源系统传导辐射测试不合格，因此，必须加以抑制，为此，可在模块的基板上加入旁路电容器，并且在模块的输入端或者在电源系统的输入端接入共模滤波器。

共模滤波器应当装在模块的输入端，而不应装在输出端。从理论上讲，由于噪声电流是从变换器的初级传输到次级，所以滤波扼流圈既可以装在输入端，也可以装在输出端。但是，由于下述原因，该扼流圈通常都装在输入端。1) 输入电压通常都比较高，所以输入端的电流较小；2) 模块仍能校正扼流圈的压降对电压调整率的影响；3) 如果滤波扼流圈串入输出端，并且取样检测元件与扼流圈另一端相连，那么对回路的稳定性将产生一定的影响。

输出噪声 (续)

差动输出噪声是输出电压中的两输出端不共同的交流分量。差动输出噪声包括与输入相关的低频噪声、(典型频率为120Hz) 和 高频开关噪声。

高频开关噪声

输出纹波电压的峰—峰值通常为额定输出电压的2%或者更低 (对于输出电压高于12V的模块为1%)，因此，通常不需要外加输出滤波器。Vicor模块用于数字系统时，一般不需要外加滤波器，然而用于某些模拟系统 (比如超声系统的前端) 时，需外加适当的输出滤波器，外加输出滤波器可按下表选用。

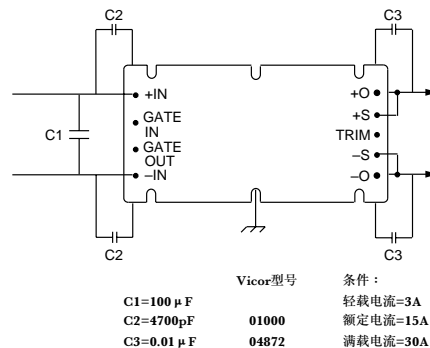
	5V模块的纹波电压	12V-15V模块纹波电压	24V-48V模块纹波电压
无外加滤波器	2%p-p典型值	1%p-p典型值	0.2%p-p典型值
低ESR输出电容	1%p-p典型值	0.5%p-p典型值	0.1%p-p典型值
LC输出滤波器	0.4%p-p典型值	0.2%p-p典型值	0.05%p-p典型值
VI-RAM滤波模块(VI-200)	<3mV p-p最大值	<3mV p-p最大值	<3mV p-p最大值
VI-RAM滤波模块(VI-J00)	<10mV, 任何输出	<10mV, 任何输出	<10mV, 任何输出

与输入相关的输出噪声

与输入相关的输出噪声取决于变换器的技术规格—输入纹波抑制。例如，VI-260-CV模块 (输入电压为300V、输出电压为5V)，对120Hz的纹波抑制比为 $30+20\text{Log}(V_{in}/V_o)$ ，已知 $V_{in}=300\text{V}$ ， $V_o=5\text{V}$ ，因此纹波抑制比是 $30+35.56=65.56\text{dB}$ 。相应的衰减系数为1890。因此，如果输入到变换器的纹波电压峰—峰值为30V，那么变换器输出纹波电压峰—峰值则为15.8mV。由于电源输出噪声的频率很低，不可能采用无源滤波器进一步衰减，因此，必须采用有源滤波器。VI-RAM滤波模块，便兼备滤除高频噪声的无源滤波器和可以滤除低频噪声的有源滤波器。

差模输出噪声

图10
没有外加滤波器的
输出噪声



无外加滤波

Vicor型号：VI-230-CV

输入电压：48V 输出电压：5V

输出纹波电压与负载电流的关系

输出噪声(续)

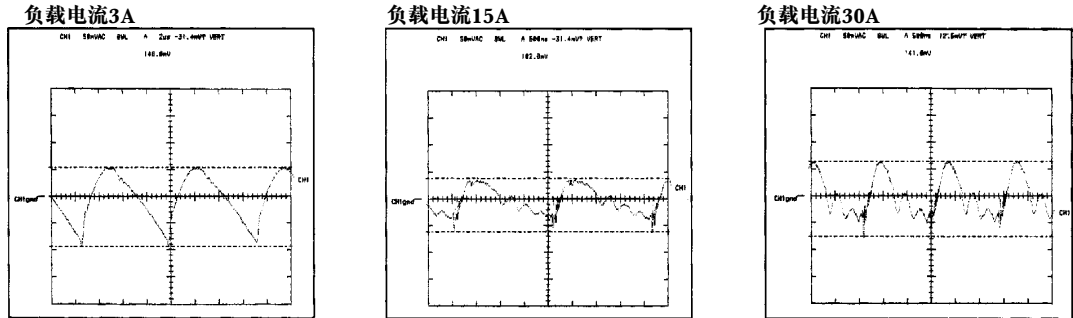
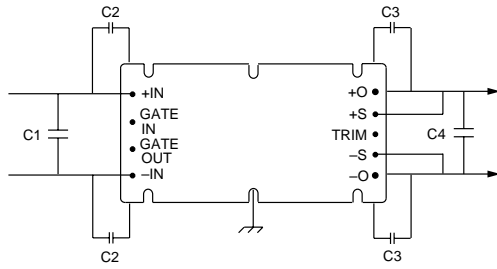


图11
外加输出滤波
电容器时的
输出噪声



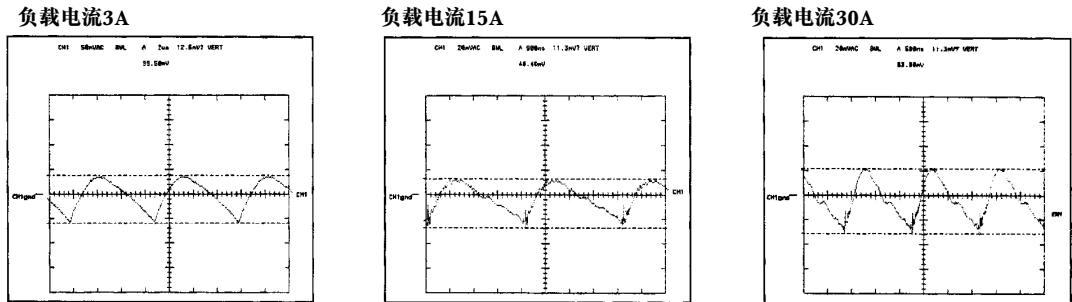
外加输出滤波电容器

Vicor型号：VI-230-CV

输入电压：48V 输出电压：5V

输出纹波电压与负载电流的关系

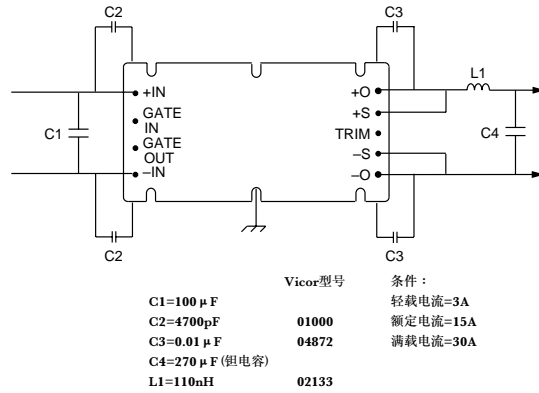
- | | | |
|----------------------|---------|----------|
| C1=100 μ F | Vicor型号 | 条件： |
| C2=4700pF | 01000 | 轻载电流=3A |
| C3=0.01 μ F | 04872 | 额定电流=15A |
| C4=270 μ F (钽电容) | | 满载电流=30A |



说明：应选用低ESR (等效串联电阻) 的电容器，钽电容更佳。

差模输出噪声(续)

图12
外加输出电感和
电容器时的
输出噪声

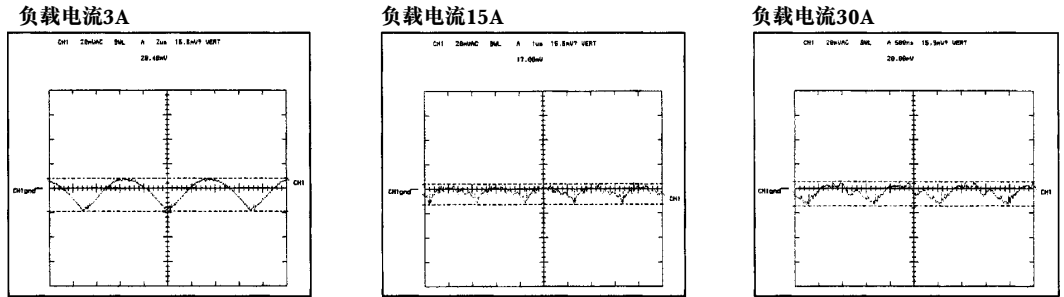


LC输出滤波器

Vicor型号：VI-230-CV

输入电压：48V 输出电压：5V

输出纹波电压与负载电流的关系



说明：电感采用Vicor P/N 05298，滤波电容应选用ESR很小的钽电容

VI-RAM / MI-RAM模块的作用

VI-RAM模块衰减输出噪声的方式有两种：第一，VI-RAM模块内的LC滤波器衰减与开关频率有关的高频分量；第二，VI-RAM模块内的有源滤波器衰减与输入有关的低频分量。这些频率通常为60~120Hz及其谐波，如果采用无源滤波器，就需要容量非常大的电容器C和电感量很大的线圈L。有源滤波电路实质上是一种将输入纹波乘以-1的反相器。输出纹波电压经反相后再加到输出端。这样，可以有效地抵消输出纹波电压中的低频分量。

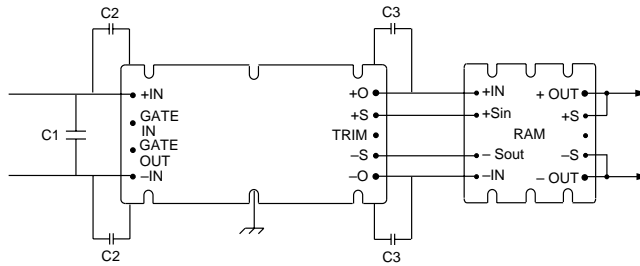
VI-RAM模块中，没有共模滤波器，因此，任何共模噪声都能通过该模块。它只能消除一个输出脚对另一个输出脚的差模噪声。

VI-RAM模块的使用方法非常简单，但应当注意以下两点：首先LC滤波器接在正输出脚，因此，如果将正输出脚短路，就不能衰减纹波电压的高频分量。另外，有源滤波电路接在负输出脚，如果将负输出脚短路，就不能衰减纹波电压的低频分量。

VI-RAM 与 Vicor VI-200模块或VI-J00模块配套，而MI-RAM则配合Vicor MI-200或MI-J00模块系列的。

VI-RAM模块的作用(续)

图13
采用VI-RAM纹波
衰减模块时的
输出噪声



RAM输出滤波器

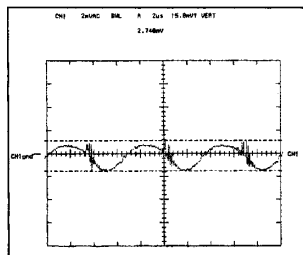
Vicor型号：VI-230-CV

输入电压：48V 输出电压：5V

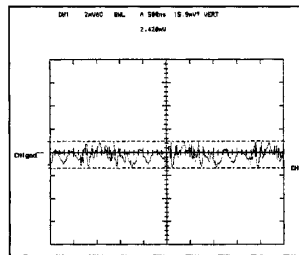
输出纹波电压与接上VI-RAM-C2后
负载电流的关系

条件：
 C1=100µF 轻载电流=3A
 C2=4700pF 额定电流=15A
 C3=0.01µF 过载电流=30A

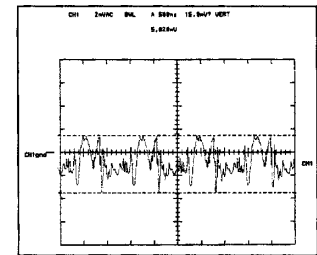
负载电流3A



负载电流15A



负载电流30A(已在过载情形)



说明：除具有与上面电路类似的无源滤波器外，VI-RAM模块中还装有有源滤波器，可衰减电源低频谐波。

有关VI-RAM / MI-RAM的补充部分，参见第十五章